

Trabajo de Grado en la Modalidad de: **Proyecto Líder/ TESIS**

Código del Trabajo: **TGII-R22**

Área del Trabajo: **Sostenibilidad**

Tutor: **Cristian Enrique Pedraza Manuel**

Título Economía Circular en el Sector Agroindustrial Colombiano: análisis comparativo con prácticas globales

Adrian Espinosa Caballero*

¹ Alumno de la Carrera de Administración, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 110231, Colombia

* Correspondencia: adrian.espinosac@javeriana.edu.co

Abstract: The circular economy is an innovative economic model that seeks to decouple economic growth from the exploitation of finite resources, promoting reuse, repair and recycling practices to extend the life cycle of products. That said, this study aims to analyze the potential of circular economy principles in the Colombian agro-industrial sector and their impact on long-term competitiveness and sustainability, based on documented examples and international comparative studies. The methodology adopted to achieve this objective is documentary and qualitative in nature. A comprehensive review of academic literature, government reports and international case studies was carried out, which allowed us to identify the challenges and opportunities in the Colombian context. Likewise, a comparative analysis was carried out with the aforementioned countries, which have already made significant progress in the adoption of the circular economy in their agro-industrial sectors. The results highlight that, although Colombia faces significant barriers, such as the lack of adequate infrastructure and limited training in circular practices, there are key opportunities that can be leveraged to advance this model. These include the growing demand for sustainable products, the potential for bioenergy development, and support for emerging circular economy policies. Implementing these principles will not only promote environmental sustainability, but will also strengthen the competitiveness of the agro-industrial sector in international markets that value sustainable practices.

Keywords: circular economy, Colombian agroindustry, sustainability, competitiveness

Resumen:

La economía circular es un modelo económico innovador que busca desvincular el crecimiento económico de la explotación de recursos finitos, promoviendo prácticas de reutilización, reparación y reciclaje para extender el ciclo de vida de los productos. Dicho esto, este estudio tiene como objetivo analizar el potencial de los principios de economía circular en el sector agroindustrial colombiano y su impacto en la competitividad y sostenibilidad a largo plazo, basándose en ejemplos documentados y estudios comparativos internacionales. La metodología adoptada para alcanzar este objetivo es de carácter documental y cualitativo. Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de literatura académica, informes gubernamentales y estudios de caso internacionales, lo que permitió identificar los desafíos y oportunidades en el contexto colombiano. Asimismo, se realizó un análisis comparativo con los países mencionados, que ya han avanzado significativamente en la adopción de la economía circular en sus sectores agroindustriales. Los resultados destacan que, aunque Colombia enfrenta barreras significativas, como la falta de infraestructura adecuada y la limitada

capacitación en prácticas circulares, existen oportunidades clave que pueden aprovecharse para avanzar en este modelo. Entre estas se encuentran la creciente demanda de productos sostenibles, el potencial para el desarrollo de bioenergía y el respaldo de políticas emergentes de economía circular. La implementación de estos principios no solo favorecerá la sostenibilidad ambiental, sino que también fortalecerá la competitividad del sector agroindustrial en mercados internacionales que valoran prácticas sostenibles.

Palabras claves: economía circular, agroindustria colombiana, sostenibilidad, competitividad

1. INTRODUCCIÓN

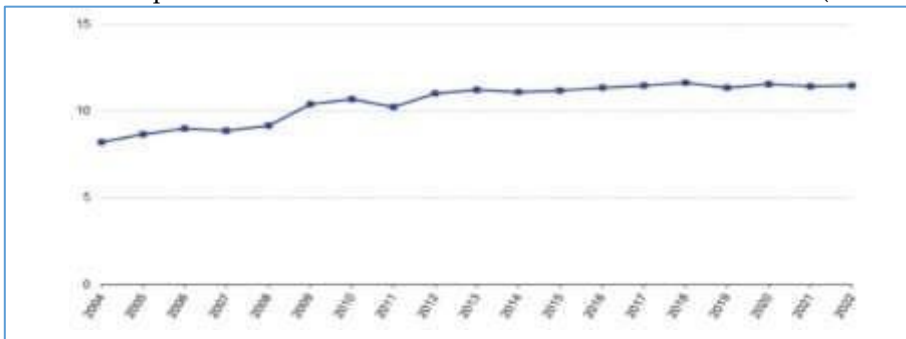
La economía circular es un modelo económico que busca desvincular el crecimiento económico del consumo de recursos finitos, promoviendo un ciclo de vida extendido para los productos a través de la reutilización, la reparación y el reciclaje (Cerdá & Khalilova, 2016). A diferencia del modelo económico lineal tradicional de "tomar, hacer, desechar", la economía circular propone que los productos y materiales se mantienen en uso el mayor tiempo posible, maximizando su valor y utilidad (Soriano et al., 2022).

A nivel global, la economía circular ha ganado tracción, especialmente en Europa, donde países como Holanda, Dinamarca y Alemania han implementado políticas rigurosas para integrar este modelo en diversos sectores industriales (Espinoza, 2023). Estas naciones han demostrado que la economía circular no solo es viable, sino que también resulta beneficiosa en términos de competitividad, ya que reduce costos operativos y abre nuevas oportunidades de negocio. El Plan de Acción para la Economía Circular de la Unión Europea ha sido fundamental en esta transición hacia una economía más sostenible (Vaqué, 2016).

La gráfica muestra la tasa de circularidad de diferentes materiales en la Unión Europea entre 2010 y 2022. La biomasa tiene la tasa más alta, oscilando entre el 22% y 25%, lo que indica que es el material más reciclado o reutilizado. Los minerales no metálicos, como los productos de construcción, mantienen una tasa constante cercana al 10%, con una ligera tendencia al alza. Por otro lado, los minerales metálicos tienen una tasa de reciclaje más baja, cercana al 5%, mientras que los materiales fósiles prácticamente no son reciclados, con una tasa cercana al 0%. En conjunto, la tasa total de circularidad se ha mantenido estable, entre el 11% y 12% durante este periodo, lo que refleja que, aunque algunos materiales tienen una mayor circularidad, otros presentan grandes desafíos para ser reciclados (Eurostat, 2022).

En Latinoamérica, aunque la adopción de la economía circular ha sido más lenta y desigual, se observan avances significativos en países como Brasil, México y Chile. Estos avances han sido impulsados tanto por el sector público como por el privado, aunque todavía enfrentan desafíos importantes como la falta de infraestructura adecuada y la necesidad de cambiar la mentalidad empresarial (Van Hoof et al., 2022). A pesar de estos desafíos, algunos sectores, como la fabricación y la gestión de residuos, han comenzado a demostrar los beneficios potenciales de la economía circular, subrayando la importancia de adaptar estas prácticas a las realidades locales (Loyola, 2021).

Grafica 1: Impacto de los Materiales en la Economía Circular en la UE (2010-2022)



Fuente: Eurostat (2022)

En Colombia, el concepto de economía circular ha comenzado a cobrar relevancia en los últimos años, en especial dentro del marco de la política nacional de producción y consumo sostenible (Ministerio de Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo territorial, 2019). Sin embargo, la adopción de estos principios en el sector agroindustrial ha sido limitada y enfrenta barreras significativas, tales como la falta de conocimiento especializado, la ausencia de incentivos claros y la baja prioridad del tema en la agenda empresarial (Colombia Productiva, 2021). A pesar de estos desafíos, el sector agroindustrial colombiano tiene un gran potencial para beneficiarse de la economía circular, dado que es una industria intensiva en recursos y altamente dependiente del medio ambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

EL sector agroindustrial representa un pilar fundamental de la economía, no solo por su contribución al Producto Interno Bruto (PIB), sino también por su capacidad de generación de empleo, especialmente en áreas rurales (Ministerio de Agricultura, 2021). Sin embargo, el modelo actual de producción agroindustrial enfrenta desafíos significativos relacionados con la sostenibilidad, como el alto consumo de recursos naturales, la generación de residuos y la dependencia de insumos no renovables (Colombia Productiva, 2021).

Presenta como una oportunidad estratégica para transformar el sector, ofreciendo un marco que permita optimizar los recursos y reducir el impacto ambiental, a través de prácticas que prolongan la vida útil de los productos y minimizan el desperdicio (Fundación Ellen MacArthur, 2021). sentido, explorar y adoptar los principios de economía circular en la agroindustria colombiana no solo contribuiría a mejorar la sostenibilidad y la competitividad del sector, sino también a fortalecer la resiliencia de las comunidades rurales frente a los desafíos climáticos y económicos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019)

Los países líderes en la adopción de la economía circular han demostrado que, además de reducir el impacto ambiental, la implementación de estos principios puede mejorar significativamente la competitividad y sostenibilidad de las empresas (Leyva et al., 2023). Esto sugiere que, al analizar y adaptar estas prácticas en el contexto colombiano, el sector agroindustrial podría no solo contribuir a la sostenibilidad del país, sino también fortalecer su posición en los mercados internacionales. Sin embargo, este proceso requiere una evaluación detallada de las barreras y oportunidades específicas en Colombia, así como un análisis comparativo con las

experiencias internacionales exitosas (Lares & Henríquez, 2021). Dicho lo anterior, surge la pregunta ¿Cómo puede la implementación de los principios de economía circular en el sector agroindustrial colombiano contribuir a mejorar su competitividad y sostenibilidad a largo plazo en comparación con países líderes en este ámbito?

Está claro que la economía circular ofrece una oportunidad única para que el sector agroindustrial colombiano no solo mejore su sostenibilidad ambiental, sino que también fortalezca su competitividad en un mercado global cada vez más enfocado en prácticas sostenibles. A medida que los consumidores y las regulaciones internacionales exigen productos más sostenibles, las empresas que adopten principios de economía circular estarán mejor posicionadas para prosperar en el futuro. Este estudio es relevante porque busca llenar el vacío existente en la literatura respecto a cómo la economía circular puede ser aplicada de manera efectiva en el contexto colombiano, y cómo estas prácticas pueden ser comparadas y adaptadas a partir de experiencias internacionales. La investigación proporcionará información valiosa que puede guiar tanto a las empresas como a los formuladores de políticas en la transición hacia modelos más sostenibles en el sector agroindustrial.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Economía circular

La economía circular es un modelo económico basado en el principio de minimizar la explotación de recursos naturales mediante la creación de sistemas productivos donde los bienes y materiales se mantienen en uso el mayor tiempo posible. Este concepto implica un cambio de paradigma, alejándose de la lógica de la economía lineal, donde los productos son fabricados, consumidos y luego desechados, hacia un sistema en el que los productos y materiales se reutilizan, reciclan o transforman al final de su vida útil, reduciendo así el impacto ambiental y la generación de residuos (Cerdá & Khalilova, 2016).

Una de las definiciones más amplias y aceptadas en el mundo hispano proviene del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España, el cual define la economía circular como "un sistema de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar los materiales y productos existentes durante el mayor tiempo posible". Esto significa alargar el ciclo de vida de los productos y reducir al mínimo el uso de recursos naturales y la generación de residuos, todo con el objetivo de cerrar el ciclo de los materiales dentro del proceso productivo y regenerar los ecosistemas (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020)

Este modelo propone un ciclo continuo de productos y recursos, en el que los desechos se reintegran al sistema productivo como materias primas secundarias, en lugar de ser eliminados. Este enfoque va más allá del reciclaje tradicional, pues implica también el rediseño de productos para que estos sean duraderos, reparables y reciclables. Es decir, se basa en la idea de que "el mejor residuo es aquel que no se genera", promoviendo la reducción del desperdicio y el uso eficiente de los recursos (Cerdá & Khalilova, 2016). Esta premisa está respaldada por diversos marcos legales en países como España y Colombia, donde se han implementado políticas públicas que incentivan la adopción de prácticas circulares en sectores productivos estratégicos.

En Colombia, la Política Nacional de Economía Circular, promulgada en 2019, tiene como objetivo desacoplar el crecimiento económico del consumo de recursos y fomentar un desarrollo más sostenible. Este marco normativo insta a las empresas y los sectores industriales a replantear sus procesos productivos, incorporando estrategias para cerrar los ciclos de materiales, incrementar la eficiencia energética y reducir la huella ecológica de sus actividades (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019). Este enfoque no solo contribuye a reducir el impacto ambiental, sino que también busca mejorar la competitividad de las empresas en un mercado global que cada vez más exige prácticas sostenibles.

La economía circular se sustenta en un conjunto de principios diseñados para transformar el actual modelo de producción y consumo, haciendo un uso más eficiente de los recursos y reduciendo al mínimo los desechos. Estos principios buscan mantener los productos, materiales y recursos en circulación durante el mayor tiempo posible, contribuyendo a un sistema económico regenerativo y sostenible. A continuación, se detallan los principales pilares de la economía circular, tal como se han definido en el marco de políticas y estudios clave sobre el tema.

Grafica 2: esquema economía circular



Fuente: escuela europea de gerencia (2022)

2.1.1 Principios de la Economía Circular

Cerrar ciclos de productos y materiales: el cierre de ciclos de productos es uno de los principios fundamentales de la economía circular. Este concepto implica que los productos y los materiales no deben ser eliminados una vez que han cumplido su función, sino que deben reincorporarse al ciclo productivo a través de la reutilización, reparación, remanufactura o reciclaje (Cerdá & Khalilova, 2016). En lugar de adoptar el enfoque lineal tradicional de "tomar, hacer, desechar", se propone un ciclo continuo donde los productos se devuelven al proceso productivo en alguna forma, maximizando su vida útil y reduciendo la demanda de materias primas nuevas.

Desde un punto de vista legal, la Estrategia Española de Economía Circular destaca que cerrar los ciclos no solo se refiere a la gestión de residuos, sino también al diseño de productos que faciliten su desmonte y reutilización (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020). El diseño para la circularidad es un aspecto clave para asegurar que los productos puedan ser reciclados o reutilizados de manera eficiente, reduciendo así la presión sobre los recursos naturales.

Minimización del desperdicio: en la economía circular, uno de los objetivos primordiales es la minimización del desperdicio. Esto se logra no solo a través del reciclaje, sino también mediante la reducción de los residuos desde el diseño del producto y la optimización de los procesos productivos para que se generen menos desechos. De acuerdo con la Política Nacional de Economía Circular de Colombia, la minimización del desperdicio debe estar presente en todas las fases de la cadena productiva, desde la extracción de materias primas hasta el consumo final y la gestión de residuos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

La integración de prácticas como la optimización de recursos y la mejora de la eficiencia en el uso de insumos y energía son esenciales para reducir significativamente la cantidad de residuos generados. Este enfoque promueve el desarrollo de nuevos modelos de negocio, como la economía colaborativa o el alquiler de productos, que permiten que los consumidores utilicen bienes sin necesidad de adquirirlos, reduciendo así el consumo innecesario de recursos (Lopez, 2023).

Reciclaje y reutilización de materiales: el reciclaje y la reutilización son pilares fundamentales de la economía circular, ya que permiten que los materiales y productos se reincorporen a los ciclos productivos en lugar de ser desechados. Según el Plan de Acción para la Economía Circular de la Unión Europea, el reciclaje de materiales como el plástico, los metales y los productos electrónicos no solo contribuye a reducir la acumulación de residuos, sino que también permite el aprovechamiento de materias primas secundarias, disminuyendo la dependencia de nuevos recursos (Comisión Europea, 2020).

En el contexto de la economía circular, el reciclaje va más allá de la simple gestión de residuos. Implica el rediseño de productos y procesos para que los materiales puedan ser recuperados con mayor facilidad. Por su parte, la reutilización se enfoca en prolongar la vida útil de los productos a través de reparaciones y actualizaciones, lo que reduce la necesidad de nuevos bienes y promueve el uso eficiente de los recursos existentes (Lopez, 2023).

Prolongación del ciclo de vida de los productos: la prolongación del ciclo de vida de los productos es un principio central de la economía circular. Esto se logra mediante el diseño de productos duraderos que sean fáciles de reparar, actualizar o desmantelar, lo que facilita su posterior reutilización o reciclaje (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020). Al diseñar productos que sean más resistentes y adaptables, se reduce la frecuencia con la que los consumidores deben reemplazar artículos, disminuyendo así el consumo de recursos y la generación de residuos.

De acuerdo con Lopez (2023), la prolongación de la vida útil de los productos es crucial para reducir la huella ambiental de la producción y el consumo. Esto no solo implica que los productos duren más, sino que puedan ser fácilmente reparados o actualizados para mantenerse en uso durante más tiempo. En última instancia, este enfoque también fomenta un cambio en los hábitos de consumo, promoviendo la compra responsable y el consumo consciente.

2.2 Economía Circular en el Sector Agroindustrial

2.2.1 Características del Sector Agroindustrial

El sector agroindustrial es esencialmente dependiente de los recursos naturales, lo que lo convierte en un actor clave dentro de las estrategias de sostenibilidad. La producción agrícola requiere grandes cantidades de tierra, agua, energía, y otros insumos para el cultivo y procesamiento de alimentos y productos. Esta alta dependencia de la naturaleza implica que cualquier cambio en la disponibilidad de estos recursos, como la escasez de agua o la degradación del suelo, afecta directamente la capacidad productiva del sector (ONU, 2020). Esto es especialmente preocupante en el contexto del cambio climático, donde la irregularidad en las lluvias y el aumento de la temperatura pueden reducir considerablemente el rendimiento agrícola y amenazar la seguridad alimentaria mundial.

En muchos países, esta dependencia es exacerbada por la falta de estrategias de gestión sostenible de los recursos. La sobreexplotación de la tierra y la ineficiencia en el uso del agua agravan los problemas de degradación de los suelos y escasez hídrica, lo que pone en riesgo la productividad a largo plazo (Dourojeanni & Jouravlev, 2002). Esto subraya la necesidad de adoptar prácticas que maximicen la eficiencia en el uso de los recursos y minimicen los impactos negativos en el medio ambiente. De hecho, un manejo más sostenible de estos insumos es crucial para garantizar la resiliencia del sector agroindustrial ante los cambios en las condiciones ambientales y económicas.

El uso intensivo de insumos es otra característica distintiva del sector agroindustrial. La agroindustria depende en gran medida de fertilizantes, pesticidas, herbicidas y energía para garantizar altos rendimientos y calidad en los productos que ofrece. Sin embargo, el uso excesivo de agroquímicos presenta un gran desafío ambiental. La acumulación de fertilizantes y pesticidas en el suelo y en los cuerpos de agua puede provocar la contaminación de los recursos hídricos y la pérdida de biodiversidad (Baldini, 2020). Por ejemplo, la eutrofización de ríos y lagos, causada por el exceso de nutrientes de los fertilizantes, genera un desequilibrio en los ecosistemas acuáticos y afecta la pesca y otras actividades económicas locales.

Este problema no solo afecta al medio ambiente, sino que también incrementa los costos de producción para los agricultores, quienes se vuelven más dependientes de insumos externos para mantener la productividad (Gliessman, y otros, 2007). Además, la resistencia a los pesticidas está aumentando, lo que obliga a los agricultores a utilizar productos más fuertes o en mayores cantidades, exacerbando el problema. Este círculo vicioso ilustra la necesidad de adoptar un enfoque más sostenible y eficiente en el uso de insumos, lo que podría no solo reducir los impactos ambientales, sino también mejorar la rentabilidad a largo plazo.

El hecho de que los insumos agrícolas se importen en muchos países añade otro nivel de complejidad. Las fluctuaciones en los precios internacionales de los agroquímicos y la energía afectan directamente los márgenes de ganancia de los productores agroindustriales, lo que puede debilitar su competitividad en mercados globales (Brazales, 2000). Aquí es donde los principios de la economía circular pueden ofrecer soluciones, mediante la optimización del uso de recursos y la reducción de la dependencia de insumos externos.

Un aspecto crítico del sector agroindustrial es la generación de grandes volúmenes de residuos, tanto orgánicos como inorgánicos. Durante el proceso agrícola y la transformación de productos, se

generan desechos que, en muchos casos, no son gestionados de manera eficiente. Estos residuos incluyen restos de cultivos, embalajes y productos no aprovechados, que si no son gestionados adecuadamente, pueden convertirse en fuentes de contaminación ambiental y contribuir a las emisiones de gases de efecto invernadero (Maza -Valle & Malavé, 2015).

Sin embargo, estos residuos también representan una oportunidad valiosa dentro de un marco de economía circular. Los residuos orgánicos pueden transformarse en productos útiles como compost o biogás, que pueden reutilizarse en el proceso agrícola o para generar energía. La integración de tecnologías de valorización de residuos no solo reduce el impacto ambiental, sino que también genera nuevos modelos de negocio, como la producción de energía renovable a partir de los desechos agrícolas (Manrique, 2022). En lugar de ser vistos como un problema, los residuos pueden convertirse en un recurso valioso, promoviendo una gestión más sostenible de los subproductos generados por la agroindustria.

2.2.2 Beneficios Potenciales de la Economía Circular en el Sector Agroindustrial

La adopción de los principios de economía circular en el sector agroindustrial ofrece una serie de beneficios clave que pueden mejorar significativamente tanto la sostenibilidad como la competitividad de este sector. La economía circular se centra en el uso eficiente de recursos, la reducción de desechos, el mejor manejo del agua y la integración de energías renovables, optimizando así los procesos productivos y minimizando los impactos ambientales. A continuación, se detallan los beneficios más destacados de este enfoque.

Uso eficiente de los recursos. La eficiencia en el uso de recursos es uno de los pilares fundamentales de la economía circular. En el sector agroindustrial, esto implica reducir el desperdicio de recursos naturales como el agua, los fertilizantes y la energía, y maximizar el aprovechamiento de los insumos agrícolas a lo largo de todo el ciclo productivo. Esto contrasta con el modelo tradicional lineal, que depende de la extracción constante de recursos y genera desechos sin consideración para su reaprovechamiento (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2019).

Al adoptar prácticas circulares, los subproductos de la agroindustria, como los restos de cultivos o el estiércol, pueden reutilizarse para generar biomasa o fertilizantes naturales, lo que no solo reduce la dependencia de insumos externos, sino que también mejora la salud del suelo. Esto, a su vez, puede aumentar la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, optimizando su productividad sin necesidad de recurrir a insumos químicos sintéticos. Al reutilizar estos recursos de manera eficiente, no solo se disminuyen los costos operativos, sino que se incrementa la sostenibilidad del sistema agrícola (Salgado-Tello et al., 2023).

Reducción de desechos orgánicos. El manejo de los desechos orgánicos es uno de los grandes desafíos del sector agroindustrial. En un sistema tradicional, gran parte de los residuos generados, como los restos de cultivos, los subproductos alimentarios o los residuos del ganado, se eliminan o se gestionan de forma ineficiente, lo que contribuye a la contaminación del medio ambiente y a la emisión de gases de efecto invernadero. Sin embargo, la economía circular ofrece soluciones innovadoras que permiten reaprovechar estos desechos, transformándolos en recursos valiosos.

Uno de los ejemplos más destacados de este enfoque es el uso de la digestión anaerobia, un proceso que descompone los residuos orgánicos en ausencia de oxígeno para generar biogás. Este biogás puede utilizarse como fuente de energía renovable para alimentar las propias explotaciones agrícolas, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles. Además, los subproductos de este proceso, como los fertilizantes orgánicos, pueden reintegrarse en los suelos, mejorando su fertilidad y cerrando el ciclo de nutrientes (Rodríguez, 2017).

Este enfoque no solo ayuda a reducir la cantidad de residuos que se generan, sino que también tiene beneficios económicos, ya que convierte un pasivo, como los desechos, en un activo valioso para las empresas. Además, la reducción de desechos orgánicos también ayuda a mitigar problemas ambientales, como la contaminación del suelo y del agua, lo que contribuye a mejorar la resiliencia de los ecosistemas agrícolas frente al cambio climático. La capacidad de cerrar estos ciclos productivos es fundamental para lograr una agroindustria más sostenible y competitiva (Aguilar & Lado, 2019).

Mejor manejo del agua. El agua es un recurso vital en la agroindustria, y su gestión eficiente es fundamental para garantizar la sostenibilidad del sector. En un sistema de economía circular, se promueve el uso de sistemas de riego de precisión y la reutilización de aguas residuales para minimizar el consumo de agua dulce y reducir el desperdicio. Esto es especialmente relevante en regiones donde la escasez de agua es un problema creciente debido al cambio climático (Espinoza, 2023).

Los sistemas de riego por goteo y las tecnologías de monitoreo en tiempo real permiten ajustar la cantidad de agua utilizada de acuerdo con las necesidades exactas de los cultivos, lo que evita el uso excesivo del recurso. Además, el uso de aguas residuales tratadas para el riego es una práctica que permite reducir la demanda de agua dulce, al mismo tiempo que se gestionan de manera sostenible los efluentes agrícolas (Salazar-Moreno et al., 2014). Estas prácticas no solo aseguran que el agua se utilice de manera más racional, sino que también mejoran la eficiencia general del sistema agrícola, disminuyendo los costos asociados con el suministro de agua y contribuyendo a una mayor sostenibilidad.

Además, en regiones donde el acceso al agua es limitado, la captación de agua de lluvia y su almacenamiento para usos agrícolas es una solución cada vez más viable. Esta práctica, combinada con tecnologías de riego eficientes, puede ayudar a estabilizar la producción agrícola, incluso en condiciones de estrés hídrico, y asegurar que los cultivos reciban el agua necesaria sin depender exclusivamente de fuentes tradicionales (ONU, 2020). Así, el manejo eficiente del agua no solo contribuye a la sostenibilidad del sector, sino que también mejora la competitividad de las empresas agroindustriales.

Energías renovables en la agricultura. La incorporación de energías renovables es otro beneficio clave de la economía circular en la agroindustria. Al reducir la dependencia de los combustibles fósiles, las explotaciones agrícolas pueden disminuir su huella de carbono y mitigar su contribución al cambio climático. La biomasa, el biogás, la energía solar y la energía eólica son algunas de las fuentes renovables que ya se están utilizando en el sector, ofreciendo una alternativa más sostenible y rentable a largo plazo (Perdomo & Izquierdo, 2011).

La utilización de biomasa derivada de residuos agrícolas, como restos de cultivos y estiércol, permite generar energía en la misma explotación agrícola. Este tipo de soluciones no solo ayuda a reducir los costos energéticos, sino que también permite a las empresas agroindustriales mejorar su independencia energética, evitando los efectos de la volatilidad en los precios de los combustibles fósiles. Asimismo, el uso de paneles solares para alimentar sistemas de riego, refrigeración o procesamiento de productos agrícolas es cada vez más común, y ofrece una fuente constante y limpia de energía que reduce tanto los costos operativos como el impacto ambiental (Corredor & Pérez, 2018).

Además de los beneficios ambientales, el uso de energías renovables en la agricultura también permite a las empresas acceder a incentivos fiscales o subvenciones que los gobiernos ofrecen para promover la adopción de tecnologías limpias. Esto no solo mejora la viabilidad económica de la adopción de estas tecnologías, sino que también refuerza el compromiso del sector agroindustrial con los objetivos de sostenibilidad a largo plazo (ONU, 2020). Con la integración de energías renovables, las empresas del sector pueden mejorar tanto su competitividad como su capacidad para operar de manera más eficiente en un entorno global cada vez más enfocado en la sostenibilidad.

2.2.3 Desafíos para la Implementación de la Economía Circular en el Sector Agroindustrial

Aunque la economía circular promete beneficios significativos en términos de sostenibilidad y eficiencia, su implementación en el sector agroindustrial enfrenta una serie de obstáculos que dificultan su adopción generalizada. Los principales desafíos incluyen la falta de conocimiento, los altos costos iniciales y las barreras regulatorias, todos los cuales necesitan ser abordados para facilitar la transición hacia un modelo circular en este sector.

Uno de los principales problemas es la falta de conocimiento sobre los beneficios y la viabilidad de la economía circular dentro del sector agroindustrial. Muchas empresas, especialmente las pequeñas y medianas (PYMES), carecen de información técnica sobre cómo adoptar prácticas circulares, lo que incluye desde la reutilización de residuos hasta el uso de tecnologías que permitan un uso más eficiente de los recursos (Salgado-Tello et al., 2023). Esta carencia de conocimiento limita la adopción de modelos circulares y perpetúa la dependencia de procesos lineales que tienden a ser menos sostenibles a largo plazo.

El problema se agrava por la falta de capacitación técnica disponible para los actores del sector agroindustrial. En muchos países, los agricultores y empresarios no tienen acceso a programas educativos que les permitan comprender cómo la economía circular puede aplicarse a sus procesos productivos. Esta brecha en el conocimiento técnico no solo retrasa la adopción de tecnologías más sostenibles, sino que también perpetúa prácticas ineficientes y costosas (Corena, 2021). Superar este desafío requiere inversiones tanto en educación como en asistencia técnica, promoviendo la participación de los gobiernos y organizaciones internacionales en la difusión de conocimiento especializado.

Además, iniciativas internacionales como las impulsadas por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) han reconocido la importancia de la transferencia de tecnología y el fortalecimiento de capacidades locales como una vía para reducir este déficit de

conocimiento. Sin embargo, estas iniciativas aún no han alcanzado a la mayoría de los pequeños agricultores y empresarios agroindustriales, lo que subraya la necesidad de estrategias más inclusivas que permitan una mayor participación de actores clave en este sector.

Otro desafío importante para la implementación de la economía circular en la agroindustria es el alto costo inicial de las tecnologías necesarias para la transición. Las inversiones en infraestructura y equipamiento para gestionar residuos, producir biogás o utilizar energías renovables suelen ser costosas, lo que desincentiva a muchas empresas, especialmente a las PYMES, a hacer el cambio (Gómez & Hernández, 2020). Este costo inicial se convierte en una barrera importante, ya que las empresas enfrentan incertidumbre sobre los plazos de retorno de la inversión.

Además de la inversión inicial, los costos asociados a la operación y mantenimiento de estas tecnologías pueden ser elevados, especialmente en los primeros años, cuando los retornos aún no son claros o no se perciben de manera inmediata. En contextos donde las márgenes de ganancia son ajustadas, es comprensible que muchas empresas prefieran continuar con sus prácticas tradicionales, aunque sean menos sostenibles. Esto muestra la necesidad de establecer incentivos financieros, como subvenciones o créditos blandos, que permitan a las empresas agroindustriales reducir el impacto económico de la adopción de tecnologías circulares (Villalpanda, 2023).

El acceso limitado a financiamiento asequible es otro factor que contribuye a la resistencia a la adopción de tecnologías circulares. Aunque algunos gobiernos ofrecen programas de subsidios o incentivos para fomentar la inversión en sostenibilidad, en muchas regiones estos recursos son insuficientes o difíciles de acceder. Esto plantea un desafío adicional para las empresas que buscan modernizar sus instalaciones y procesos, y destaca la importancia de políticas públicas más robustas que promuevan la inversión en tecnología sostenible. La creación de mecanismos financieros más accesibles, junto con la simplificación de los trámites para acceder a estos fondos, podría ser una solución viable para superar este obstáculo.

Las barreras regulatorias también juegan un papel clave en la ralentización de la adopción de la economía circular en el sector agroindustrial. Aunque en muchos países existen políticas orientadas a fomentar la sostenibilidad, las leyes y regulaciones actuales suelen ser insuficientes o están descoordinadas, lo que dificulta que las empresas adopten prácticas circulares de manera eficiente (Villalpanda, 2023). Las regulaciones actuales a menudo no proporcionan los incentivos suficientes ni las normativas claras que las empresas necesitan para alinear sus procesos con los principios de la economía circular.

Además, en algunos países, la regulación sobre la gestión de residuos es limitada, lo que restringe las oportunidades para reutilizar o reciclar los subproductos generados por la agroindustria. Por ejemplo, en ciertas regiones, la normativa local prohíbe o dificulta el uso de subproductos agrícolas para la producción de biogás o fertilizantes naturales, lo que obliga a las empresas a desechar estos residuos, desaprovechando su potencial. Esta falta de coherencia regulatoria también desalienta a las empresas que desean invertir en tecnologías circulares, debido a los trámites burocráticos complejos y costosos que deben enfrentar (Brazales, 2000).

Para superar estas barreras, es necesario que los gobiernos desarrollen marcos normativos más claros y alineados con los principios de la economía circular. Esto incluiría la creación de incentivos

fiscales y exenciones para las empresas que adopten tecnologías sostenibles, así como la simplificación de los procedimientos administrativos para facilitar la adopción de prácticas circulares. Además, la armonización de normativas entre las diferentes regiones y niveles de gobierno permitiría una implementación más fluida de estos principios en la agroindustria.

2.2.4 Casos Exitosos Internacionales de Economía Circular en Agroindustria

La implementación de los principios de economía circular en la agroindustria ha demostrado ser exitosa en varios países que lideran en sostenibilidad y en la integración de prácticas circulares en sus sistemas productivos. Holanda, Dinamarca, y Alemania son algunos de los ejemplos más destacados, donde las políticas innovadoras y las tecnologías avanzadas han permitido transformar los modelos tradicionales hacia sistemas más eficientes y sostenibles. Estos países han logrado integrar la economía circular en el sector agroindustrial mediante la gestión eficiente de recursos, la valorización de residuos, y el uso de energías renovables. A continuación, se presenta un análisis detallado de los enfoques y logros en cada uno de estos países.

Holanda: Pionera en Agricultura Circular y Eficiencia de Recursos. Holanda es reconocida internacionalmente como líder en la economía circular aplicada a la agroindustria. El país ha implementado un enfoque holístico que integra la agricultura de precisión, la reutilización de residuos y la energía renovable para optimizar el uso de recursos y reducir el impacto ambiental. La visión holandesa es avanzar hacia una economía completamente circular para 2050, con una fuerte participación del sector agrícola (Andersen, 2007).

Una de las principales innovaciones en la agricultura holandesa es el uso de tecnologías de precisión, como sensores, drones y sistemas de monitoreo, que permiten a los agricultores optimizar el uso de fertilizantes, agua y otros insumos. Esto ha resultado en una reducción significativa de los costos de producción y en una mejora de la sostenibilidad del sector (Marino & Pariso, 2020). Además, los residuos orgánicos generados en las granjas, como el estiércol, son utilizados para producir biogás, que alimenta las propias explotaciones y ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El modelo de invernaderos sostenibles de Holanda también ha sido destacado a nivel mundial. Estos invernaderos utilizan energía solar y biomasa para reducir el consumo de energía fósil, mientras que optimizan el crecimiento de los cultivos. Holanda ha logrado integrar estos sistemas de forma eficiente, mejorando tanto la productividad agrícola como la eficiencia energética (Kok, Worpel, & Ten- Wolde, 2013).

Dinamarca: Energías Renovables y Biogás en la Agroindustria. Dinamarca es otro país líder en la adopción de la economía circular, especialmente en el sector agroindustrial. Su enfoque ha sido la transformación de residuos agrícolas en biogás y la implementación de tecnologías de energía renovable. El proyecto Lemvig Biogas, por ejemplo, ha permitido convertir residuos orgánicos en energía que se utiliza tanto en la producción agrícola como en la red eléctrica nacional (Bentsen & Felby, 2012).

Además, Dinamarca ha promovido la agricultura regenerativa, que busca restaurar la salud del suelo y mejorar la capacidad de las tierras agrícolas para retener carbono. La rotación de cultivos, el uso de coberturas vegetales y la minimización del uso de pesticidas son algunas de las prácticas que se han implementado para mejorar la sostenibilidad del sistema agrícola danés (Korhonen,

Honkasalo, & Seppälä, 2018). Esta combinación de biogás y prácticas agrícolas regenerativas ha permitido a Dinamarca reducir su dependencia de los combustibles fósiles y mejorar su competitividad a largo plazo. El gobierno danés ha sido clave en la promoción de políticas que incentivan el uso de energías renovables y la adopción de tecnologías circulares. Estas políticas, combinadas con la innovación tecnológica y la colaboración entre sectores público y privado, han posicionado a Dinamarca como un referente en la transición hacia una agroindustria circular (Dalgaard, y otros, 2014)

Alemania: Innovación en la Gestión de Residuos y la Producción de Bioenergía. Alemania ha liderado la implementación de la economía circular en la agroindustria mediante la adopción de sistemas avanzados para la gestión de residuos y la producción de bioenergía. El país ha desarrollado una infraestructura robusta para convertir residuos orgánicos en biogás, que se utiliza para generar electricidad y calor en las explotaciones agrícolas, reduciendo así la dependencia de los combustibles fósiles (Simon & Wiegmann, 2009).

El uso de biomasa para la producción de energía en Alemania ha sido particularmente exitoso. Las plantas de biogás utilizan residuos de cultivos, estiércol y residuos alimentarios para producir energía limpia. Esto no solo ha permitido reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también ha mejorado la eficiencia energética del sector agrícola (Kleyböcker, y otros, 2024). Además, Alemania ha implementado políticas para fomentar la recuperación de nutrientes de los residuos agrícolas, lo que permite que los subproductos de la producción de biogás se utilicen como fertilizantes orgánicos, mejorando la salud del suelo y reduciendo la necesidad de fertilizantes químicos (UBA, 2020). El éxito de Alemania en la economía circular también se debe a la existencia de políticas progresivas y al fuerte apoyo del gobierno a la innovación en tecnologías limpias. La colaboración público-privada ha sido crucial para crear un entorno en el que las soluciones circulares son económicamente viables y sostenibles a largo plazo (Simon & Wiegmann, 2009).

Los casos de Holanda, Dinamarca y Alemania demuestran que la implementación de la economía circular en la agroindustria es viable y puede generar importantes beneficios tanto en términos de sostenibilidad como de competitividad. Estos países han logrado integrar tecnologías avanzadas, optimizar el uso de recursos y reducir los residuos mediante la producción de energía renovable y la valorización de residuos agrícolas. La colaboración entre gobiernos, sector privado y academia ha sido clave para el éxito de estos modelos, ofreciendo una guía clara para otros países interesados en adoptar principios de economía circular en sus sistemas agroindustriales.

2.2.5 Economía Circular en Colombia: Avances, Barreras y Oportunidades

La economía circular ha comenzado a ganar tracción en Colombia en los últimos años, impulsada por diversas políticas gubernamentales y la creciente concienciación sobre la necesidad de adoptar modelos sostenibles en todos los sectores económicos. Aunque el país ha logrado algunos avances importantes, aún enfrenta barreras significativas que dificultan la implementación a gran escala de este modelo económico.

Uno de los principales avances en Colombia en términos de economía circular ha sido la implementación de la Estrategia Nacional de Economía Circular, lanzada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019), esta estrategia tiene como objetivo promover la transformación de los sectores productivos mediante la adopción de prácticas circulares que

permitan desvincular el crecimiento económico del uso intensivo de recursos finitos. La estrategia establece un marco claro para fomentar la eficiencia en el uso de materiales y la reducción de residuos, abordando tanto la industria manufacturera como sectores claves como el agroindustrial.

Entre los componentes clave de la Estrategia Nacional de Economía Circular se encuentra la promoción del reciclaje y la reutilización de materiales, el aprovechamiento energético de los residuos y la gestión sostenible de los recursos naturales. Además, esta estrategia busca integrar a actores del sector privado y público para incentivar el desarrollo de nuevas tecnologías y modelos de negocio que favorezcan la circularidad en las cadenas productivas (Colombia Productiva, 2021). Un ejemplo importante de esta política es el programa de producción y consumo sostenible, que busca promover el uso eficiente de recursos en sectores como la agroindustria, donde los residuos orgánicos tienen un alto potencial para ser reutilizados.

A pesar de los esfuerzos por impulsar la economía circular, Colombia enfrenta diversas barreras que limitan su implementación, especialmente en sectores como el agroindustrial. Una de las principales dificultades es la falta de conocimiento técnico sobre cómo adoptar e integrar los principios de la economía circular en los procesos productivos. Muchas empresas, especialmente pequeñas y medianas (pymes), carecen del conocimiento y la capacidad técnica para modificar sus modelos de negocio y adoptar tecnologías que permitan reducir residuos y maximizar el uso de recursos (Preston & Lehne, 2017). Esto genera una resistencia al cambio, ya que muchos productores no ven claras las ventajas a corto plazo de implementar prácticas circulares.

Otra barrera significativa es la falta de incentivos económicos que alienten a las empresas a adoptar modelos circulares. En muchos casos, los costos iniciales asociados con la transformación tecnológica y la infraestructura necesaria son elevados, lo que desalienta a los empresarios a realizar las inversiones necesarias (Araujo, Santos, & Martínez-Arguelles, 2023). Además, las políticas públicas actuales no siempre ofrecen suficientes incentivos financieros, como exenciones fiscales o subsidios, para compensar estos costos, lo que dificulta la adopción de tecnologías más sostenibles. Por último, existe una carencia importante de infraestructura para el manejo y reciclaje adecuado de los residuos, lo que complica la implementación efectiva de la economía circular en Colombia.

2.3 Modelos de Negocio Circulares en el Sector Agroindustrial

2.3.1 Modelo de Negocio

Un modelo de negocio es el esquema mediante el cual una empresa genera valor para sus clientes y, a su vez, obtiene ingresos sostenibles a partir de ello. Este concepto abarca todos los elementos que componen la estrategia de una organización, desde la forma en que sus productos o servicios se diseñan y distribuyen, hasta la manera en que se gestionan los recursos y se establecen relaciones con socios clave. De acuerdo con Osterwalder y Pigneur (2010), un modelo de negocio puede desglosarse en nueve bloques fundamentales: propuesta de valor, segmentos de clientes, canales de distribución, relaciones con clientes, fuentes de ingresos, recursos clave, actividades clave, asociaciones clave y estructura de costos.

La propuesta de valor es el núcleo del modelo de negocio y representa la promesa que una empresa hace a sus clientes al ofrecerles productos o servicios que satisfacen sus necesidades o

resuelven sus problemas. Este valor puede ser funcional, emocional o social, dependiendo del mercado al que la empresa se dirija (Teece, 2010). Por ejemplo, una empresa puede competir en precio, calidad, innovación o sostenibilidad, dependiendo de su propuesta diferenciada en el mercado.

En cuanto a los recursos y actividades clave, estos son los activos y procesos esenciales para llevar a cabo la operación de la empresa. Estos pueden incluir desde el capital humano y tecnológico, hasta las instalaciones y patentes que sustentan la operación de la organización. Junto con los socios estratégicos, que pueden ser proveedores, distribuidores u otros actores de la cadena de valor, estos elementos aseguran que la empresa pueda entregar su propuesta de valor de manera eficiente (Zott & Amit, 2010).

2.3.2 *Modelo de Negocio Circular*

Un modelo de negocio circular se distingue por su capacidad para integrar los principios de la economía circular dentro de la lógica empresarial tradicional. A diferencia del modelo lineal clásico, que sigue el ciclo de *tomar, hacer, desechar*, el modelo circular tiene como objetivo cerrar los ciclos productivos a través de la reutilización, reparación, reciclaje y regeneración de productos y materiales. Este enfoque implica una transformación profunda en la manera en que las empresas operan, diseñan productos, y generan valor a lo largo de toda la cadena productiva (Carrillo González & Pomar Fernández, 2021)

En lugar de depender de un flujo constante de recursos vírgenes, un modelo de negocio circular optimiza el uso de los recursos existentes al prolongar la vida útil de los productos y al reincorporar los materiales en nuevas etapas de producción. Esto se logra a través de diversos mecanismos, como el diseño para la durabilidad, el mantenimiento y la reparación, la remanufactura, y el reciclaje. De esta forma, se reduce la necesidad de extraer nuevos recursos y se disminuye la generación de residuos, alineándose con los objetivos de sostenibilidad (Carrillo González & Pomar Fernández, 2021).

Uno de los componentes clave de los modelos de negocio circulares es la creación de nuevas oportunidades de ingresos mediante la valorización de residuos. En este sentido, los subproductos o desechos generados en el proceso productivo pueden ser reaprovechados o transformados en nuevos productos. Por ejemplo, en sectores como la agroindustria, los residuos orgánicos pueden ser convertidos en compost, fertilizantes naturales o incluso biogás, cerrando el ciclo de materiales y generando valor añadido a partir de lo que, en un modelo lineal, sería simplemente desechado (Melendez et al., 2021).

Asimismo, los modelos de negocio circulares fomentan la innovación en torno a la propiedad y el acceso a los productos. En lugar de centrarse únicamente en la venta, muchas empresas adoptan estrategias de servicios basadas en la economía colaborativa o el alquiler de productos. Esto permite que los productos sean utilizados por múltiples consumidores a lo largo de su vida útil, maximizando su valor y minimizando el desperdicio (Valenzuela et al. 2019). Un ejemplo de esto es la expansión de los sistemas de leasing o alquiler en sectores como el de la tecnología o la moda, donde los consumidores pueden utilizar productos durante un periodo determinado sin necesidad de adquirirlos de manera permanente.

Otro aspecto crucial de los modelos de negocio circulares es que promueven la regeneración de sistemas naturales. Esto implica no solo reducir los impactos negativos de las actividades productivas, sino generar un impacto positivo neto en los ecosistemas. A través de prácticas como la agricultura regenerativa o el uso de energías renovables, los modelos circulares no solo minimizan el daño ambiental, sino que también contribuyen a la restauración y regeneración de los recursos naturales, creando un ciclo verdaderamente sostenible (Geissdoerfer et al., 2018).

Además, la adopción de modelos de negocio circulares permite a las empresas diferenciarse en mercados cada vez más exigentes, donde los consumidores buscan productos sostenibles y responsables con el medio ambiente. Esta tendencia, sumada a las crecientes presiones regulatorias en torno a la sostenibilidad, está impulsando a las organizaciones a reconfigurar sus modelos de negocio hacia prácticas circulares para asegurar su competitividad y relevancia a largo plazo (Forero, 2021). Es de ir que al transformar los desechos en recursos y cerrar los ciclos productivos, las empresas que adopten estos modelos podrán mejorar tanto su desempeño ambiental como su competitividad económica.

2.3.3 Modelo Lineal: "Tomar, hacer, desechar" versus "Reutilizar, reparar, reciclar"

El modelo lineal ha sido el predominante en las economías industriales desde hace siglos, basado en un ciclo simple de "tomar, hacer y desechar". Este sistema implica que los recursos naturales se extraen para fabricar productos, que tras su uso se convierten en residuos que suelen terminar en vertederos o incineradores. El ciclo lineal no considera el reaprovechamiento de los materiales, lo que genera un impacto ambiental significativo y una dependencia constante de los recursos vírgenes (Lopez, 2023). La esencia del modelo lineal está en la producción masiva y el consumo rápido, lo que inevitablemente provoca un incremento en la generación de desechos y el agotamiento de los recursos naturales, dificultando la sostenibilidad a largo plazo (Falappa et al., 2019).

Por el contrario, la economía circular plantea un cambio radical al enfocarse en "reutilizar, reparar y reciclar", proponiendo que los productos al final de su vida útil no se descarten como residuos, sino que sean reincorporados al ciclo productivo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019). Este enfoque no solo reduce la presión sobre los recursos naturales, sino que también permite cerrar los ciclos productivos mediante la reintegración de los materiales como insumos para nuevos productos. El objetivo es minimizar al máximo el desperdicio y generar sistemas económicos que regeneren los ecosistemas y fomenten el desarrollo sostenible (Comisión Europea, 2020).

En lugar de ver los residuos como un fin inevitable, la economía circular los considera recursos valiosos que pueden ser reaprovechados. Esto contrasta directamente con el enfoque lineal, que fomenta el desperdicio y el desecho al final de la vida útil del producto. En un modelo circular, los productos son diseñados desde el principio para ser duraderos, reparables y reciclables, con el fin de que su vida útil pueda extenderse al máximo, optimizando el uso de los recursos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020).

Un aspecto clave que diferencia ambos modelos es la forma en que gestionan el valor de los productos. En la economía lineal, una vez que el producto se usa, pierde su valor y se desecha,

mientras que, en la economía circular, los productos y materiales retienen su valor durante todo su ciclo de vida, a través de su reutilización y reciclaje. Este enfoque también permite reducir los costos asociados a la extracción de nuevas materias primas y la gestión de residuos, lo que beneficia tanto al medio ambiente como a las empresas que optimizan sus procesos productivos (Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, Una revisión sobre la economía circular: la transición esperada hacia una interacción equilibrada de los sistemas ambientales y económicos, 2016).

Además, la economía circular promueve la innovación en modelos de negocio, como el alquiler de productos en lugar de su venta, lo que permite que un bien sea utilizado por varios consumidores a lo largo de su vida útil. Esto es una ventaja para el consumidor, ya que reduce costos, y para las empresas, porque pueden obtener ingresos recurrentes por el mismo producto (Carrillo & Pomar, 2021). Por tanto, la economía circular no solo es una alternativa más sostenible, sino que también presenta oportunidades económicas en términos de ahorro de recursos, reducción de costos y generación de nuevos modelos de negocio.

2.3.4 Modelos de Negocio Circular en la Agroindustria

El sector agroindustrial, como parte clave de las economías globales, tiene un gran potencial para la adopción de modelos de negocio circulares, dado su alto nivel de dependencia de recursos naturales y la gran cantidad de residuos que genera. Un modelo de negocio circular en la agroindustria es aquel que transforma los procesos productivos tradicionales del sector para optimizar el uso de recursos, minimizar el desperdicio, y reutilizar subproductos agrícolas (Martínez & Porcelli, 2018). Al adoptar principios circulares, las empresas agroindustriales pueden no solo mejorar su sostenibilidad, sino también generar nuevas fuentes de ingresos mediante la valorización de residuos y subproductos.

Uno de los aspectos clave de los modelos circulares en la agroindustria es la reutilización de residuos orgánicos. En lugar de desechar los restos de cultivos o subproductos como el estiércol y los residuos alimentarios, estos pueden ser transformados en biomasa, biogás, compost o fertilizantes naturales. Este enfoque no solo reduce la cantidad de residuos que deben ser gestionados, sino que también proporciona a las empresas agroindustriales una fuente de energía renovable o fertilizantes, reduciendo la dependencia de insumos externos (Ortiz Gutiérrez et al., 2022). Este modelo no solo cierra el ciclo productivo, sino que crea valor adicional al convertir lo que antes era un desecho en un recurso valioso.

Otro ejemplo importante de un modelo de negocio circular aplicado a la agroindustria es la implementación de sistemas de producción regenerativa. Esto implica prácticas como la agricultura regenerativa, que busca no solo reducir el impacto ambiental de las actividades agrícolas, sino también regenerar la salud de los suelos, incrementar la biodiversidad y mejorar la retención de carbono en el suelo. Estas prácticas permiten a las empresas agroindustriales operar de manera más sostenible mientras mejoran la productividad a largo plazo, asegurando la resiliencia ante cambios climáticos y económicos (D'Amato et al., 2017).

Asimismo, los modelos de negocio circulares en la agroindustria suelen incluir sistemas de riego de precisión y la gestión eficiente del agua. Estos sistemas permiten optimizar el uso del agua a través

de tecnologías como sensores y monitoreo en tiempo real, lo que asegura que los cultivos reciban solo la cantidad necesaria de agua, reduciendo el desperdicio y mejorando la eficiencia hídrica. En algunos casos, las empresas también pueden utilizar aguas residuales tratadas para el riego, lo que reduce la dependencia de fuentes de agua dulce y cierra el ciclo del agua en el proceso productivo (Canet-Martí, y otros, 2021).

Siendo así, el desarrollo de cadenas de valor sostenibles también forma parte de los modelos circulares en la agroindustria. Esto implica la creación de sistemas logísticos y productivos que maximicen la eficiencia, minimicen las emisiones de carbono y fomenten la cooperación entre productores, distribuidores y consumidores. Los modelos de negocio basados en la economía colaborativa, como el intercambio o alquiler de maquinaria agrícola, también están ganando terreno, permitiendo que los productores reduzcan los costos de inversión mientras maximizan el uso de los equipos a lo largo de su ciclo de vida (Ghisellini et al., 2016). Estos modelos promueven una agricultura más sostenible, resiliente y competitiva, respondiendo tanto a las demandas del mercado como a los desafíos medioambientales actuales. (Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems., 2016)

3. OBJETIVOS

Objetivo General:

Analizar el potencial de los principios de economía circular en el sector agroindustrial colombiano y su impacto en la competitividad y sostenibilidad a largo plazo, basándose en ejemplos documentados y estudios comparativos internacionales.

Objetivos Específicos / Hipótesis:

1. Identificar cómo los principios de la economía circular y los modelos de negocio circulares pueden integrarse en la estrategia empresarial del sector agroindustrial colombiano.
2. Comparar el nivel de implementación y los beneficios del enfoque de economía circular en Colombia frente a países líderes en este ámbito, utilizando una metodología documental.
3. Proponer estrategias para impulsar la adopción de la economía circular en el sector agroindustrial colombiano, basadas en casos de éxito y la literatura existente.

4. METODOLOGÍA

La presente investigación se clasifica como un estudio documental con un enfoque cualitativo. Este tipo de estudio se centra en la recopilación y análisis de fuentes secundarias, cuentos como artículos científicos, informes de políticas públicas y estudios de casos anteriores. La elección de un

enfoque documental permite realizar un análisis profundo de la situación actual de la economía circular en el sector agroindustrial colombiano, sin necesidad de generar nuevos datos. Este método es particularmente adecuado para temas que ya han sido estudiados ampliamente en otros contextos, lo que permite utilizar la literatura existente para construir un análisis detallado y contextualizado sobre la aplicabilidad de los principios de la economía circular en el país (Hernández Sampieri et al., 2014).

La estrategia metodológica se desarrolla en tres fases específicas, alineadas con los objetivos de la investigación. La primera fase se enfoca en evaluar el contexto actual de la economía circular en el sector agroindustrial colombiano. Para ello, se recopilan y analizan estudios, informes gubernamentales y documentos técnicos que describen los desafíos y oportunidades que enfrenta el país en la adopción de prácticas circulares. En esta fase, es fundamental considerar las limitaciones y barreras propias del contexto colombiano, tales como las limitaciones tecnológicas, la falta de conocimiento en prácticas circulares y los desafíos en la gestión de residuos. Los documentos seleccionados en esta fase serán clave para identificar el punto de partida del país en cuanto a sostenibilidad y economía circular.

La segunda fase de la metodología se centra en realizar un análisis comparativo entre Colombia y países que lideran en la implementación de la economía circular, específicamente los Países Bajos, Dinamarca y Alemania. A través de una revisión detallada de políticas públicas, informes de sostenibilidad y estudios de caso de estos países, se busca identificar las estrategias y prácticas que han facilitado la transición hacia un modelo circular en sus sectores agroindustriales. Este análisis comparativo permitirá establecer puntos de referencia y proporcionar una visión crítica sobre los beneficios alcanzados en estos países, que pueden servir de inspiración para la adaptación en el contexto colombiano. La comparación se fundamentará en criterios específicos, como la gestión de residuos, el uso de energías renovables, y la eficiencia en la utilización de recursos, lo cual permitirá una evaluación exhaustiva de las diferencias y similitudes en la implementación de la economía circular.

En la tercera y última fase, se desarrollan propuestas de estrategias para la adopción de la economía circular en el sector agroindustrial colombiano, basadas en los hallazgos de las fases anteriores. Estas recomendaciones se fundamentarán en prácticas y modelos de negocio circulares que han demostrado ser exitosos en otros contextos, pero ajustados a la realidad del sector agroindustrial colombiano. Al analizar casos de éxito y buenas prácticas documentadas en la literatura, se busca diseñar estrategias aplicables y efectivas que aborden los desafíos específicos del contexto colombiano, y que, a su vez, potencien las oportunidades identificadas. De esta manera, las propuestas estarán enfocadas en fomentar la competitividad y sostenibilidad del sector agroindustrial en el país.

Las fuentes de información empleadas en esta investigación incluyen artículos científicos y académicos obtenidos de bases de datos reconocidas como Google Scholar, Scopus y ScienceDirect, las cuales proporcionan estudios relevantes sobre economía circular en la agroindustria tanto en Colombia como en los países seleccionados para el análisis comparativo. Asimismo, se consideran informes de sostenibilidad y reportes anuales de empresas agroindustriales que ya han implementado principios de economía circular, lo cual permitirá extraer lecciones aplicables al sector en Colombia. Finalmente, se revisan documentos de políticas públicas y normativas, tanto nacionales

como internacionales, incluyendo la Estrategia Nacional de Economía Circular de Colombia, que establece las bases regulatorias y los lineamientos para la transición hacia un modelo circular en el país.

Esta metodología combina el análisis documental y comparativo para obtener una visión integral de la economía circular en el sector agroindustrial colombiano, en comparación con los países líderes en esta área. A través de la recopilación y sistematización de información relevante, se busca no solo evaluar el contexto actual, sino también generar recomendaciones concretas y aplicables que contribuyan a una agroindustria más sostenible y competitiva en Colombia.

5. RESULTADOS

Objetivo específico 1: Evaluar el contexto actual de la economía circular en el sector agroindustrial colombiano, identificando los principales desafíos y oportunidades para la implementación de sus principios

El contexto actual de la economía circular en el sector agroindustrial colombiano presenta un escenario desafiante, donde la transición hacia un modelo circular aún enfrenta múltiples barreras, pero también revela importantes oportunidades para mejorar la sostenibilidad y la competitividad del sector. Este objetivo se centra en analizar los principales factores que afectan la adopción de los principios de la economía circular en Colombia, considerando tanto las limitaciones estructurales como las posibilidades de desarrollo sostenible.

Tabla 1. Desafíos economía circular sector agroindustrial

Falta de conocimiento técnico y educativo (do Nascimento & De Souza, 2020)	Las PYMES agroindustriales carecen de acceso a capacitación y tecnologías avanzadas para adoptar prácticas sostenibles, especialmente en áreas rurales.	Las empresas agroindustriales en zonas rurales enfrentan limitaciones de conocimiento para implementar prácticas de economía circular de forma eficiente.
Gestión de residuos insuficientes (Gómez, 2000)	Aunque existen iniciativas de valorización de residuos, su implementación en el sector agroindustrial es escasa debido a la falta de normativas que respalden y promuevan su aplicación generalizada.	Ejemplos aislados como el uso de desechos de palma de aceite para biocombustibles, que carecen de marco normativo para su ampliación en otros sectores agrícolas.
Dependencia de recursos no renovables (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019)	La falta de inversión en energías renovables y tecnologías de bioconversión ralentiza la transición hacia una agroindustria más sostenible.	La dependencia de combustibles fósiles y agroquímicos persiste en cultivos de alto valor, limitando la sostenibilidad y aumentando la huella de

		carbono en la producción agrícola.
--	--	------------------------------------

Fuente: elaboración autor

Abordar los desafíos para implementar la economía circular en el sector agroindustrial colombiano es crucial para lograr un modelo de producción sostenible. Estos desafíos representan que limitan la capacidad del sector para reducir su dependencia de insumos no renovables, minimizar el impacto ambiental y mejorar la eficiencia en la gestión de residuos. Superarlos es fundamental para que la agroindustria colombiana no solo mejore su sostenibilidad, sino también para que incremente su competitividad y resiliencia frente a las crecientes demandas de sostenibilidad en el mercado global.

Tabla 2. Oportunidades economía circular sector agroindustrial

Cambios en las demandas del mercado (Bocken et al., 2016)	El incremento en la demanda de productos sostenibles genera una ventaja competitiva para las empresas que integran prácticas de economía circular.	Los productos agroindustriales sostenibles tienen gran aceptación en el mercado internacional, lo que representa una oportunidad para el sector colombiano.
Desarrollo de la infraestructura de bioenergía (Fundación Ellen MacArthur, 2021)	La integración de biodigestores y sistemas de riego de precisión podría mejorar la eficiencia en el uso de recursos, reduciendo costos y mejorando la sostenibilidad.	En zonas ganaderas, el uso de biodigestores para generar biogás y energía en el sitio es una práctica que podría extenderse y fortalecer la autosuficiencia energética del sector.
Políticas de economía circular emergentes (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2019)	La Política Nacional de Economía Circular plantea el apoyo a la transición hacia energías limpias y el fomento de la biotecnología, brindando respaldo normativo a las empresas agroindustriales para adoptar modelos circulares.	Las iniciativas de agricultura regenerativa y reciclaje de residuos cuentan ahora con un marco regulador que incentiva su aplicación en más subsectores de la agroindustria.

Fuente: elaboración autor

Las oportunidades para implementar la economía circular en el sector agroindustrial colombiano son significativas y se alinean con las tendencias del mercado global hacia productos sostenibles y responsables. El fortalecimiento de la infraestructura en bioenergía, sumado al creciente respaldo normativo y la demanda de prácticas sostenibles, crea un entorno favorable para que las empresas agroindustriales puedan innovar y adoptar modelos circulares. Aprovechar estas oportunidades permitirá al sector mejorar su competitividad y responder a las exigencias de sostenibilidad del mercado actual.

La evaluación del contexto actual de la economía circular en el sector agroindustrial colombiano revela un panorama de grandes desafíos y oportunidades. Entre los desafíos se destacan la falta de conocimiento técnico, la dependencia de recursos no renovables y las limitaciones en la gestión de residuos, que obstaculizan una transición plena hacia la sostenibilidad. Sin embargo, el contexto actual también muestra oportunidades claras: el cambio en las demandas del mercado hacia productos sostenibles, el desarrollo de infraestructuras de bioenergía y las políticas emergentes en economía circular ofrecen un respaldo crucial.

Superar los desafíos y aprovechar estas oportunidades requerirá un compromiso de todos los actores involucrados, desde el gobierno hasta las empresas y los consumidores. La implementación de la economía circular en este sector no es solo una respuesta a las presiones ambientales y de mercado, sino también una oportunidad para mejorar la competitividad, reducir costos y contribuir a la sostenibilidad a largo plazo de la agroindustria colombiana.

Objetivos específicos 2: Comparar el nivel de implementación y los beneficios del enfoque de economía circular en Colombia frente a países líderes en este ámbito, utilizando una metodología documental.

En el desarrollo de este objetivo, se recurrió a una metodología documental que implicó la revisión y selección de fuentes confiables y relevantes sobre la economía circular en el contexto agroindustrial. La búsqueda se realizó en bases de datos académicos reconocidos como ScienceDirect, SpringerLink y Google Scholar, con el propósito de obtener estudios académicos y publicaciones actualizadas. Además, se complementó con informes de instituciones y organizaciones internacionales, tales como la Fundación Ellen MacArthur y Umweltbundesamt (UBA), los cuales ofrecen perspectivas avanzadas en la implementación de modelos circulares en países líderes como los Países Bajos, Dinamarca y Alemania.

Un aspecto importante en este proceso fue la coherencia con el marco teórico desarrollado previamente, donde ya se habían incorporado varias de estas fuentes. Esto permitió mantener una continuidad conceptual y metodológica en el estudio, aprovechando referencias claves previamente seleccionadas, como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, el Plan Nacional de Economía Circular, y estudios de diferentes autores. La integración de estas referencias asegura que el análisis comparativo sea tanto contextualizado en el caso colombiano como contrastado con las mejores prácticas internacionales.

Tabla 3. Tabla comparativa nivel de implementación economía circular

Área de Implementación	Colombia	Países Bajos	Dinamarca	Alemania
Políticas de economía circular	Cuenta con la Política Nacional de Economía Circular (2019) que incentiva el reciclaje y la bioenergía en la agroindustria,	Amplia regulación que impulsa la eficiencia en el uso de recursos y el reciclaje agrícola. Además, su	Fomenta la economía circular a través de políticas enfocadas en la energía renovable, con un énfasis en la	Implementa políticas avanzadas de reciclaje agrícola y recuperación de energía, apoyadas por subsidios y

	pero enfrenta desafíos de implementación y recursos en las zonas rurales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019)	visión de una economía circular completa para 2050 incluye apoyo financiero y regulaciones específicas para la agroindustria (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020)	conversión de residuos agrícolas en biogás (Bentsen & Felby, 2012)	marcos regulatorios que favorecen la bioenergía y el uso de biomasa agrícola (UBA, 2020)
Reutilización y reciclaje de residuos	La reutilización de residuos es limitada, aunque algunas iniciativas convierten subproductos en compost y biogás (Gómez, 2000)	Las prácticas de reutilización son ampliamente adoptadas; los residuos de cultivos son utilizados para biocombustibles y fertilizantes (Marino & Pariso, 2020)	Fuerte adopción de biodigestores en granjas, generando biogás y fertilizantes, con programas estatales de subsidio para su uso (Dalgaard et al., 2014).	La infraestructura para la generación de biogás y compost está bien establecida, apoyada por programas gubernamentales (Simon & Wiegmann, 2009)
Energías renovables en la agroindustria	Aunque hay algunos avances, la implementación de energías renovables sigue siendo limitada en el sector agroindustrial (Fundación Ellen MacArthur, 2021). (Fundación Ellen MacArthur, 2021)	Amplia utilización de energía solar y biogás en la agroindustria, especialmente en cultivos de invernadero (Kok et al., 2013).	Dinamarca es líder en el uso de biogás y energía eólica en la agroindustria, alcanzando niveles de autosuficiencia energética en algunas áreas rurales (Korhonen, Honkasalo, & Seppälä, 2018)	El uso de biomasa y biogás para generar energía en granjas es común, apoyado por incentivos fiscales (UBA, 2020)
Tecnologías de precisión	Poco adoptadas, con programas de riego de precisión en fase inicial en algunos cultivos (Espinoza, 2023).	Utilización de tecnologías de precisión avanzadas para el riego y la administración	Implementación de agricultura de precisión para reducir el uso de agua y fertilizantes,	Uso generalizado de sensores y sistemas de monitoreo que permiten una administración

		de fertilizantes, optimizando recursos en la agroindustria (Marino & Pariso, 2020)	apoyada por el gobierno (Dalgaard, y otros, 2014)	eficiente del agua y los recursos (Kleyböcker, y otros, 2024)
Educación y capacitación en economía circular.	Las iniciativas son incipientes y generalmente limitadas a ciertos programas gubernamentales (do Nascimento & De Souza, 2020)	Programas de capacitación extensivos en economía circular, con apoyo del gobierno para la agroindustria (Andersen, 2007)	Dinamarca integra educación sobre economía circular en sus programas agrícolas, con un enfoque en la sostenibilidad (Bentsen & Felby, 2012)	Alemania ofrece formación en economía circular en instituciones académicas y en el sector agrícola (Simon & Wiegmann, 2009)

Fuente: elaboración autor

El análisis comparativo entre el nivel de implementación de la economía circular en Colombia y en países líderes como los Países Bajos, Dinamarca y Alemania destaca tanto las fortalezas como las áreas de oportunidad para el sector agroindustrial colombiano. En particular, se observa que mientras en países europeos las políticas de economía circular están consolidadas y cuentan con un amplio respaldo en términos de infraestructura y financiamiento, en Colombia el proceso de adopción es incipiente y enfrenta limitaciones relacionadas con el acceso a tecnología y la disponibilidad de recursos económicos. Sin embargo, existen puntos de convergencia en torno a las prácticas sostenibles y la valorización de residuos, que podrían ser un punto de partida para fortalecer la economía circular en el país. En este sentido, los avances de estos países en la integración de bioenergía y prácticas de simbiosis industrial representan ejemplos valiosos para Colombia, que podrían adaptarse a la realidad del sector agroindustrial nacional.

Este objetivo ha permitido realizar una comparación exhaustiva sobre cómo Colombia se encuentra en términos de economía circular agroindustrial en relación con países que lideran en sostenibilidad. Utilizando una metodología documental, se han identificado tanto los beneficios tangibles que los países líderes han alcanzado, como los desafíos que Colombia aún debe enfrentar para alcanzar un nivel similar de implementación. Por ejemplo, mientras que en Europa existe un enfoque robusto hacia la eficiencia en el uso de recursos y una infraestructura avanzada para el manejo de residuos, en Colombia los esfuerzos se concentran en iniciativas locales y aún carecen de una articulación amplia a nivel nacional.

El objetivo de esta comparación es identificar los elementos clave que podrían ser replicables en el contexto colombiano y que, con el respaldo adecuado de políticas públicas, financiamiento e inversión en tecnología, podrían llevar a una agroindustria más competitiva y sostenible. De esta manera, el desarrollo de la economía circular en Colombia puede no solo mejorar la sostenibilidad ambiental del sector, sino también abrir nuevas oportunidades de mercado a nivel global, alineándose con las tendencias y exigencias actuales en sostenibilidad.

Objetivos específicos 3: Proponer estrategias concretas para la adopción de la economía circular en el sector agroindustrial colombiano, utilizando modelos de negocio circulares y prácticas basadas en los principios de economía circular.

En la proposición de estrategias para la adopción de la economía circular en el sector agroindustrial colombiano, utilizando modelos de negocio circulares y prácticas basadas en los principios de economía circular se presenta un enfoque orientado a la integración de la Economía circular en el contexto agroindustrial de Colombia. La economía circular propone una transformación profunda en la forma en que las empresas gestionan sus recursos, productos y residuos. En el caso de la agroindustria, que depende en gran medida de recursos naturales y genera una cantidad significativa de residuos, adoptar un enfoque circular no solo resulta en una gestión más sostenible, sino que también contribuye a mejorar la competitividad y resiliencia del sector frente a los retos ambientales y económicos actuales.

Se presentan dos cuadros detallados que ofrecen estrategias concretas de implementación. El primer cuadro está organizado en torno a los tres principios de la economía circular: preservar y aumentar el capital natural, optimizar el rendimiento de los recursos y promover la efectividad del sistema eliminando externalidades negativas. El segundo cuadro detalla los modelos de negocio circulares que pueden adoptarse en la agroindustria, tales como la recuperación y reciclaje de residuos, la extensión de la vida útil de los productos, la economía de funcionalidad y la autosuficiencia energética mediante energías renovables.

Tabla 4. Estrategias de integración basadas en los principios de economía circular

Principios de economía circular	Descripción	Estrategias de Integración en la Agroindustria	Ejemplo de integración
Principio 1. Preservar y aumentar el capital natural (Cerdá & Khalilova, 2016)	Este principio tiene como propósito el mantenimiento y regeneración de los recursos naturales, mediante la utilización de recursos renovables y tecnologías sostenibles.	<ul style="list-style-type: none"> - Promover el uso de insumos renovables, como fertilizantes orgánicos y biopesticidas, reduciendo la dependencia de químicos sintéticos. - Implementar prácticas de agricultura regenerativa, como la rotación de cultivos y el uso de cultivos de cobertura, para mejorar la salud del 	Estas estrategias apuntan a restaurar y conservar los recursos naturales mientras se optimiza el uso de recursos renovables. La agricultura regenerativa y los sistemas de riego sostenibles contribuyen a aumentar la resiliencia del suelo y la eficiencia del agua.

		<p>suelo y restaurar su biodiversidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Implementar sistemas de riego de precisión y captación de agua de lluvia, optimizando el uso del recurso hídrico en zonas de alta escasez. 	
<p>Principio 2. Optimizar el rendimiento de los recursos (Cerdá & Khalilova, 2016)</p>	<p>Mantener productos, componentes y materiales en circulación el mayor tiempo posible, mediante reutilización, reciclaje y renovación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollar programas de reciclaje interno en las agroindustrias, donde los residuos agrícolas se transforman en subproductos, como compost o biogás, que pueden ser reutilizados en los cultivos. - Implementar el diseño circular en los empaques de productos agroindustriales, utilizando materiales reciclados y reciclables que puedan integrarse nuevamente al sistema. - Facilitar la colaboración entre productores para que los residuos de una empresa puedan ser utilizados como insumos en otra, promoviendo así la simbiosis industrial. 	<p>La implementación de estos enfoques permite a las agroindustrias maximizar el valor de sus recursos, transformando residuos en valor agregado y extendiendo el ciclo de vida de materiales y productos.</p>
<p>Principio 3. Promover la efectividad del sistema y eliminar externalidades negativas (Cerdá & Khalilova, 2016)</p>	<p>Minimizar o eliminar impactos negativos como contaminación y emisiones, y gestionar externalidades ambientales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Adoptar energías renovables, como paneles solares y biodigestores, para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en las 	<p>Estas estrategias están diseñadas para mitigar el impacto ambiental negativo, optimizar el uso de insumos y promover un sistema</p>

		<p>instalaciones agroindustriales.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Implementar agricultura de precisión para reducir el uso de insumos químicos, aplicando fertilizantes y pesticidas solo en las áreas donde son estrictamente necesarios. - Sustituir agroquímicos por bioinsumos sostenibles, como pesticidas y fertilizantes orgánicos, minimizando la contaminación del suelo y el agua. 	<p>agroindustrial más limpio y eficiente. La adopción de tecnologías renovables y de precisión puede reducir significativamente las externalidades ambientales en la producción agrícola.</p>
--	--	--	---

Fuente: elaboración autor

Tabla 5. Estrategias de implementación de modelos de negocio circulares en la agroindustria

Modelo de negocio circular	Descripción	Estrategias de Integración en la Agroindustria	Ejemplo práctico
Recuperación y reciclaje de residuos (Bocken, De Pauw, Bakker, & Van Der Grinten, 2016)	Los residuos se recolectan, procesan y se reintroducen en el ciclo productivo como insumos para nuevos productos.	<ul style="list-style-type: none"> - Crear alianzas entre empresas agroindustriales para la recolección conjunta de residuos. - Implementar tecnologías de bioconversión (por ejemplo, compostaje avanzado) para transformar desechos en fertilizantes. 	Un posible proyecto piloto en el Huila podría reunir a empresas cafeteras y de plátano para convertir residuos orgánicos en compost.
Extensión de la vida útil del producto. (Bocken et al., 2016)	Diseñar productos y componentes para que sean duraderos y reparables, permitiendo que	<ul style="list-style-type: none"> - Establecer talleres de mantenimiento y reparación de maquinaria agrícola en zonas rurales. 	Desarrollar una aplicación en Antioquia donde pequeños agricultores puedan arrendar

	permanezcan en uso el mayor tiempo posible.	- Crear incentivos para la reutilización de envases y materiales de embalaje.	tractores o equipos especializados.
Economía de la funcionalidad (o economía de acceso) (Bocken et al., 2016)	El negocio se basa en ofrecer el acceso a productos en lugar de la venta, promoviendo su uso compartido o alquiler.	- Incentivar el uso de biodigestores en explotaciones ganaderas para producir biogás. - Fomentar la instalación de paneles solares mediante créditos sostenibles específicos para el sector agroindustrial.	Un programa de subsidios en la región de los Llanos Orientales incentivaría el uso de biodigestores en granjas de ganado
Energías renovables y autosuficiencia energética	Utilizar fuentes de energía renovables para minimizar la huella de carbono y reducir costos operativos.	- Implementación de paneles solares en instalaciones agroindustriales. - Uso de biomasa agrícola para generar energía en el propio sitio.	En Colombia, algunos cultivos de palma de aceite utilizan biodigestores para energía autosuficiente.

Fuente: elaboración autor

Al estructurar las estrategias en torno a los principios de la economía circular y los modelos de negocio circulares, se proporciona una hoja de ruta concreta y adaptada para la adopción de la economía circular en el sector agroindustrial colombiano. Estas estrategias no solo permiten una transición hacia prácticas más sostenibles, sino que también contribuyen a mejorar la competitividad y resiliencia del sector, respondiendo a las demandas del mercado y los desafíos ambientales actuales.

6. CONCLUSIONES

El presente estudio ha permitido analizar y comprender el contexto actual y el potencial de la economía circular en el sector agroindustrial colombiano, estableciendo un enfoque basado en la sostenibilidad y la competitividad a largo plazo. A continuación, se presentan las conclusiones de acuerdo con cada objetivo específico.

En cuanto a la integración de principios y modelos de negocio circulares en el sector agroindustrial colombiano, la economía circular ofrece un marco estratégico clave para que el sector agroindustrial en Colombia adopte prácticas sostenibles que reduzcan su impacto ambiental y aumenten su competitividad. A través de la identificación de los principios de preservación del capital natural, optimización del rendimiento de los recursos y eliminación de externalidades negativas, se ha determinado que prácticas como la agricultura regenerativa, el riego de precisión, y el uso de fertilizantes orgánicos pueden integrarse efectivamente en las operaciones del sector. La adopción de estos principios no solo ayudaría a mejorar la sostenibilidad del sector, sino que también

reduciría la dependencia de insumos no renovables, con el beneficio adicional de potenciales ahorros en costos operativos y una respuesta más efectiva a la demanda global por productos sostenibles.

Por su parte, el análisis comparativo con países como los Países Bajos, Dinamarca y Alemania muestra que el sector agroindustrial colombiano se encuentra en una fase incipiente de adopción de la economía circular en comparación con estas naciones. Los países europeos cuentan con políticas más consolidadas, mayor infraestructura para la valorización de residuos y el uso de bioenergía, así como un fuerte respaldo financiero y regulatorio. En Colombia, aunque existe un marco normativo incipiente y se han logrado avances locales, persisten desafíos en la implementación de tecnologías y la falta de acceso a financiamiento adecuado para las PYMES. No obstante, las experiencias y prácticas de estos países líderes ofrecen un modelo a seguir, que puede adaptarse a la realidad colombiana y orientarse hacia una economía circular más integrada y eficaz en el sector agroindustrial.

Finalmente, las estrategias propuestas en el estudio, que se basan en los principios de economía circular y modelos de negocio circulares, representan un camino concreto para impulsar la sostenibilidad en el sector agroindustrial colombiano. Estas estrategias incluyen la promoción de la simbiosis industrial, el uso de energías renovables, el reciclaje y valorización de residuos, y el fomento de prácticas de economía de acceso. Su implementación podría mejorar no solo la eficiencia en el uso de recursos, sino también la competitividad del sector frente a un mercado internacional cada vez más enfocado en la sostenibilidad. La colaboración entre el sector público y privado, así como la creación de incentivos financieros, son elementos esenciales para asegurar la adopción efectiva de estos modelos en el contexto colombiano.

La adopción de la economía circular en el sector agroindustrial colombiano no es solo una respuesta a la presión ambiental y de mercado, sino también una oportunidad de transformación y mejora a largo plazo. Este enfoque podría posicionar a Colombia como un actor relevante en los mercados de productos sostenibles, permitiéndole no solo conservar sus recursos naturales, sino también fortalecer la resiliencia económica de su agroindustria. Sin embargo, para que estas estrategias sean efectivas, se requiere un compromiso decidido de todos los actores involucrados, un desarrollo progresivo de infraestructura y tecnología, y el respaldo de políticas públicas que faciliten la transición hacia un modelo circular en el sector.

7. REFERENCIAS

- Andersen, M. (2007). Una nota introductoria sobre la economía ambiental de la economía circular. *Sustainability science*, 2 (1), pp. 133-140. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33002983/ANDERSEN_CIRCULAR_ECONOMY_Files-6063-articles-15091-art12-libre.pdf?1393934188=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DNOTE_AND_COMMENT_An_introduutory_note_on.pdf&Expires=1726692804&Signature=YfDq
- Araujo, D., Santos, J., & Martinez-Arguelles, G. (2023). Environmental performance evaluation of warm mix asphalt with recycled concrete aggregate for road pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 24(2). Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10298436.2022.2064999>

- Baldini, C. (2020). Territorio en movimiento: las transformaciones territoriales del Cinturón Hortícola Platense en los últimos 30 años. (*Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata*). Obtenido de https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/90102/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1
- Bentsen, N., & Felby, C. (2012). Biomass for energy in the European Union-a review of bioenergy resource assessments. *Biotechnology for biofuels*, 5,, pp. 1-10. Obtenido de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/1754-6834-5-25.pdf>
- Bocken, N., De Pauw, I., Bakker, C., & Van Der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of industrial and production engineering*, 33(5), pp 308-320. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/21681015.2016.1172124>
- Brazales, A. (2000). La agricultura sustentable como una alternativa de desarrollo para el sector agrícola ecuatoriano (Master's thesis, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador). Obtenido de <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/2577/1/T0099-MDE-Brazales-La%20agricultura.pdf>
- Canet-Martí, A., Pineda-Martos, R., Junge, R., Bohn, K., Paço, T., Delgado, C., & Baganz, G. (2021). Nature-based solutions for agriculture in circular cities: Challenges, gaps, and opportunities. *Water*, 13(18),. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/18/2565>
- Carrillo González, G., & Pomar Fernández, S. (2021). La economía circular en los nuevos modelos de negocio. *Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento*, 9(23). Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/edsc/v9n23/2007-8064-edsc-9-23-e2379933.pdf>
- Carrillo González, G., & Pomar Fernández, S. (2021). La economía circular en los nuevos modelos de negocio. *Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento*, 9(23). Obtenido de <https://economicsocialresearch.com/index.php/home/article/view/84>
- Cerdá, E., & Khalilova, A. (2016). Economía circular. *Economía industrial*, 401(3),, pp. 11-20. Obtenido de <https://www.mintur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401/CERD%C3%81%20y%20KHALILOVA.pdf>
- Comisión Europea. (2020). *Economía Circular*. Obtenido de Economía circular: definición, importancia y beneficios: <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>
- Corena, N. (2021). Modelo conceptual para la implementación de prácticas de economía circular en la cadena de suministro farm to fork (Master's thesis, Universidad de La Sabana). Obtenido de : <http://hdl.handle.net/10818/47653>

- Corredor, Y., & Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), pp. 59-72. doi:<https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Dalgaard, T., Hansen, B., Hasler, B., Hertel, O., Hutchings, N., Jacobsen, B., & Vejre, H. (2014). Políticas para la gestión del nitrógeno agrícola: tendencias, desafíos y perspectivas para mejorar la eficiencia en Dinamarca. *Environmental Research Letters*, 9 (11). Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/11/115002/pdf>
- do Nascimento, D., & De Souza, M. (2020). Barreras y desafíos para el desarrollo de la economía circular: panorama de la producción científica y tecnológica internacional. *Gestión de las Personas y Tecnología*, 13(39), pp. 93-111. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7836922>
- Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (2002). Evolución de políticas hídricas de América Latina y el Caribe. *CEPAL*. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/88dd4aa5-6cb0-4d6e-9f32-d4b92d21abfc/content>
- Eurostat. (2022). *La tasa de uso de material circular en la UE aumenta ligeramente en 2022*. Obtenido de [La tasa de uso de material circular en la UE aumenta ligeramente en 2022](https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&code=sdg12.2.1)
- Espinoza, A. (2023). Economía circular: una aproximación a su origen, evolución e importancia como modelo de desarrollo sostenible. *Revista de economía institucional*, 25(49), pp. 109-134. doi:<https://doi.org/10.18601/01245996.v25n49.06>
- Forero, I. (2021). Estrategias de diseño de producto para una economía circular. *ACTIO Journal of Technology in Design, Film Arts and Visual Communication*, 5(1), pp. 62-72. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actio/article/view/96434>
- Fundación Ellen MacArthur. (2021). *Es hora de crear una economía circular*. Obtenido de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es>
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner production*, 114, pp. 11-32. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/41427461/Circular_Economy-libre.pdf?1453473002=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DA_review_on_circular_economy_the_expecte.pdf&Expires=1728677568&Signature=MkYvx7zVtFffjlgRLY2274Rh~7DNiBEnOvaNN3-9FHT2
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). Una revisión sobre la economía circular: la transición esperada hacia una interacción equilibrada de los sistemas ambientales y económicos. *Journal of Cleaner production*, 114, pp. 11-32. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/41427461/Circular_Economy-libre.pdf?1453473002=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DA_review_on_circular_economy_the_expecte.pdf&Expires=1726651425&Signature=HTKWOipvB-c6gMtnY2BtBIJ4proLEBk0YG1g3ifKXGN-O

- Gliessman, S., Rosado-May, F., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Méndez, V., & Jaffe, R. (2007). Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas*, 16(1). Obtenido de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/134>
- Gómez, C. (2000). Problemática y gestión de residuos sólidos peligrosos en Colombia. *Innovar. Revista de ciencias administrativas y sociales*, (15), pp. 41-52. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/818/81801504.pdf>
- Kleyböcker, A., Kraus, F., Meyer, S., Heinze, J., Gromadecki, F., & Remy, C. (2024). Hacia la neutralidad de carbono y la economía circular: una combinación innovadora de producción mejorada de biogás y recuperación de nutrientes del licor de deshidratación de lodos en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales en Alemania. *Water Science & Technology*, 90 (3), pp. 680-695. Obtenido de https://watermark.silverchair.com/wst090030680.pdf?token=AQECAHi208BE49Oan9kKhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAABBowggQWBgkqhkiG9w0BBwagggQHMIIEAwIBADCCA_wGCSqGSib3DQEHATAeBgIghkgBZQMEAS4wEQQM9EASGSDz3g7ymRX0AgEQgIIDzeHdDEE3dqqlRiVUVOaUM_nx53CEAvhems0116iPqk
- Kok, L., Wurpel, G., & Ten- Wolde, A. (2013). Liberando el poder de la economía circular. *Oficina de Información Científica y Técnica del Departamento de Energía de EE. UU.* Obtenido de <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/22174941>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Economía circular: el concepto y sus limitaciones. *Economía ecológica*, 143, pp. 37-46. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/86592543/94077-libre.pdf?1653725782=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCircular_Economy_The_Concept_and_its_Lim.pdf&Expires=1726695281&Signature=V-rnrIOvANY6g-fYLu74SIG1n8GblQ1PuGyMRqN6S450JiUpThWVo38z
- Lopez, C. ´. (2023). Revalorizar la cultura sartorial para una economía circular: El hilo de la ética, desde una aguja diseñada hacia un horizonte sostenible. *Base Diseño e Innovación*, 8(9), pp. 69-84. Obtenido de <https://doi.org/10.52611/bdi.num9.2023.938>
- Manrique, I. (2022). Economía Circular y Gestión de Residuos en el mercado español. Obtenido de <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/61928>
- Marino, A., & Pariso, P. (2020). Comparación del desempeño de los países europeos en la transición hacia la economía circular. *Science of the Total Environment*, 729. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138142>
- Martínez, A., & Porcelli, A. (2018). Estudio sobre la economía circular como una alternativa sustentable frente al ocaso de la economía tradicional (primera parte). *Lex. Revista de la Facultad de Derecho y Ciencia Política de la Universidad Alas Peruanas*, 16(22), pp. 301-334. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6760587>

- Maza -Valle, F., & Malavé, A. (2015). América Latina epicentro de la bioeconomía mundial caso: agroindustria del café. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/6850>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/estrategia-nacional-de-economia-circular/>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Estrategia Española de Economía Circular y Planes de Acción*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/estrategia.html>
- ONU. (2020). *Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura*. Obtenido de <https://www.fao.org/interactive/state-of-food-agriculture/2020/es/>
- Perdomo, I., & Izquierdo, H. (2011). Visión prospectiva de la sustentabilidad agroindustrial. *Ninth LACCEI Latin American and Caribbean Conference (LACCEI'2011), Engineering for a Smart Planet, Innovation, Information Technology and Computational Tools for Sustainable Development*. Obtenido de <https://api-saber.ucab.edu.ve/server/api/core/bitstreams/35ad2e71-f024-4b0c-94c4-dc3da30e5c7b/content>
- Preston, F., & Lehne, J. (2017). ¿Un círculo más amplio? La economía circular en los países en desarrollo. Obtenido de <https://policycommons.net/artifacts/1423261/a-wider-circle-the-circular-economy-in-developing-countries/2037525/>
- Rodríguez, A. (2017). La bioeconomía: oportunidades y desafíos para el desarrollo rural, agrícola y agroindustrial en América Latina y el Caribe. *Boletín CEPAL*. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e1f91f65-95d0-4e85-82f9-eedf1b23aed8/content>
- Simon, S., & Wiegmann, K. (2009). Modelado de potenciales bioenergéticos sostenibles a partir de la agricultura para Alemania y los países de Europa del Este. *Biomass and Bioenergy*, 33 (4), pp. 603-609. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.10.001>
- Teece, D. (2010). Business models, business strategy and innovation. *Long range planning*, 43(2-3), pp. 172-194. Obtenido de <https://www.kth.se/social/upload/528c4881f2765458b97a9368/Teece%20%282010%29.pdf>
- UBA. (2020). *Umwelt Bundesamt*. Obtenido de Hacia un medio ambiente libre de contaminantes: <https://www.umweltbundesamt.de/en>
- Vaqué, L. (2016). El impacto de la implantación de una “Economía Circular” para la Industria alimentaria en la Unión Europea. *BoDiAlCo*,(18), pp. 3-7. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Luis-Gonzalez-Vaque/publication/299242468_El_impacto_de_la_implantacion_de_una_Economia_Circul



ar_para_la_Industria_alimentaria_en_la_Union_Europea/links/56efe4fe08aeae9f93e7f83
2/El-impacto-de-la-implantacion-de-una-Eco

- Villalpanda, M. (2023). "La economía circular para la seguridad alimentaria y el procesamiento agroindustrial de alimentos. *Revista Cubana de Administración Pública y Empresarial*, 7(2),. doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.8241446>
- Zott, C., & Amit, R. (2010). Business model design: An activity system perspective. *Long range planning*, 43(2-3), pp. 216-226. Obtenido de [/http://www.marc-lemenestrel.net/IMG/pdf/3_zott_n_amit_bm_design.pdf](http://www.marc-lemenestrel.net/IMG/pdf/3_zott_n_amit_bm_design.pdf)